Aus der Augenklinik der Universität Tübingen
Direktor: Prof. Dr. H. Harms

Führungsbewegungen der Augen

Untersuchungen bei augengesunden Kindern

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Annemarie Rommel
aus Freudenstadt

1962

7399

Aus der Augenklinik der Universität Tübingen
Direktor: Prof. Dr. H. Harms

Führungsbewegungen der Augen

Untersuchungen bei augengesunden Kindern

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

vorgelegt von
Annemarie Rommel
aus Freudenstadt

1962

Dekan: Prof. Dr. K. Brecht
Referent: Prof. Dr. G. Mackensen
Korreferent: Prof. Dr. H. Harms

Fotodruck PRÄZIS · Tübingen

Gliederung der Arbeit

I. E i n l e i t u n g 1

Literaturübersicht
Führungsbewegung im Zusammenhang mit anderen optokinetischen Bewegungsformen

II. M e t h o d i k 17

III. E r g e b n i s s e 24

IV. B e s p r e c h u n g d e r E r g e b n i s s e 38

V. Z u s a m m e n f a s s u n g 42

L i t e r a t u r

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41549606_0097

1. Einleitung

Unsere aktiven Augenbewegungen bestehen im allgemeinen aus schnellen, fast ruckartigen Bewegungsabläufen, wie bei den Blick-, Späh- und Kommandobewegungen, oder aus einer Folge solcher Rucke mit eingestreuten Fixationspausen wie beim Lesen, Schreiben und anderen Verrichtungen. Dabei wird während der Bewegung selbst nicht deutlich gesehen, nur in den Fixationspausen. Die geschilderten raschen Blickbewegungen haben die Aufgabe, einen in der Peripherie des Gesichtsfeldes zunächst undeutlich gesehenen Gegenstand so schnell wie möglich in der Netzhautmitte, der Fovea centralis, abzubilden.

Eine ihrem Charakter, ihrer Entstehung und Aufgabe nach völlig andersgeartete Bewegung führt das Auge dagegen beim

Versuch aus, einen bewegten Gegenstand in jedem Augenblick deutlich zu sehen. Diese Bewegung ist im Vergleich zur erstgenannten langsamen und kontinuierlich gleitend. Sie ist ohne das Führungsobjekt, auf das die volle Aufmerksamkeit gerichtet ist, nicht möglich. Deshalb bezeichnete sie DODGE als "pursuit movement" und die deutschen Autoren sprechen von Folge- oder F ü h r u n g s b e w e g u n g . Da sie willkürlich nur entstehen kann, wenn ein in geeigneter Geschwindigkeit führendes Fixationsobjekt vorhanden ist, glaubt man in ihr eine Sonderform der Fixation zu sehen, durch deren Mechanismus die Blicklinie in jedem Augenblick auf das führende Objekt gerichtet bleibt.

Untersuchungen der Augen während der Fixation haben ergeben, dass sie dabei niemals in völliger Ruhe verharren, sondern beständig kleinste Bewegungen um eine Mittellage ausführen. Diese Beobachtungen wurden zuerst von DODGE, Mc.ALLISTER, KOCH, MARX u. TRENDELENBURG, OEHRWALL, SUNDBERG und VERWEIJ mitgeteilt. Sie wurden später von ADLER u. FLIEGELMANN, SCHLAAK, LORD u. WRIGHT, BARLOW, DITCHBURN u. GINSBORG, RATCLIFF u. RIGGS sowie von DRISCHEL u. LANGE bestätigt. So fanden MARX u. TRENDELENBURG mit ihrer Methode, Reflexe einer auf Hornhautkappen angebrachten Spiegelmarke photographisch zu registrieren, kleine Rucke von 4 - 8 1/2', OEHRWALL bestimmte ihre Grösse durch mikroskopische Beobachtung eines Konjunktivalgefässes auf 23 - 32', VERWEIJ fand mit Hilfe von Nachbildbeobachtungen Rucke verschiedener Grösse im Bereich von etwa 1o' und 2o - 4o'. In neuerer Zeit fand man neben diesen kleinen Rucken auch langsame gleitende Stellungsabweichungen von ziemlich konstanter Geschwindig-

keit, sogen. Deviationen und kleine sinusförmige Wellen. DRISCHEL bestätigte mit einer photoelektrischen Registrieranordnung das Vorkommen aller drei Formen, wobei er die Ruckgrösse mit 2 - 25' (Häufung bei 5 - 8'), die Deviationsgrösse mit 6' und die Wellenamplitude mit 1 - 5', die Wellenfrequenz mit 3 - 5 Hz angab. Er, wie auch die anderen Autoren, sehen in den ständigen feinen Ruckbewegungen eine Korrekturfunktion im Rahmen eines fixationsregelnden Mechanismus, ohne die eine Fixationseinstellung nicht eingehalten werden könnte. Das Einstellfeld bei zentraler Fixation ist also nicht punktförmig eng begrenzt, sondern erstreckt sich auf einen mehr oder weniger grossen Teil der Fovea centralis. DODGE erklärte ausserdem die kleinen Bewegungen als Kompensationen für unwillkürliche Kopfschwankungen und verwies wie später RIGGS u. Mitarbeiter auf deren Notwendigkeit, um eine zu rasche Lokaladaptation zu vermeiden.

Die feinen Ruckbewegungen, "zur Korrektur der durch die Ungenauigkeit des motorischen Apparates entstehenden Abweichungen der zentralen Einstellungen" (MARX u. TRENDELENBURG) entstehen unbewusst. Ein reflexähnlicher Mechanismus muss also die Fixationseinstellung automatisch regeln. OEHWALL spricht vom "Einfangmechanismus", weil das Bild durch unbewusste, rein reflektorische Augenbewegungen wieder in den eigentlichen Fixationsbereich der Fovea eingefangen werde, GERTZ vom "Stellungsapparat", der im Gegensatz zum Blickapparat alle tonischen Dauereinstellungen vermittle, die von optischen Eindrücken, Labyrinth und Kleinhirn hervorgerufen werden. KESTENBAUM nennt diesen Reflexapparat den "Einschnappmechanismus" der Fixation. DITCHBURN u. GINSBORG, DRISCHEL, LORD u. WRIGHT, LUDVIGH u. WESTHEIMER sehen im Fixationsregelnden Apparat einen Regelkreis, dessen Messglieder lichtempfindliche Elemente der Netzhaut und möglicherweise auch Muskel- und Sehnenspindeln, dessen Regler Zentren der Sehrinde und des Augenmuskelkern-

gebietes und dessen Stellglieder die Augenmuskeln sind. Zur Regelgrösse wird die Blicklinie, die den angeblickten Punkt mit der Stelle des schärfsten Sehens verbindet.

Uns beschäftigt nun die Frage, ob die Führungsbewegung tatsächlich nur eine besondere Form der Fixation darstellt, d.h. ob sie als eine Folge kleinster Korrekturrucke ausschliesslich über den fixationsregelnden Apparat entsteht, oder ob sie vielleicht zusätzlich noch anderen Einflüssen unterliegt und in ihrem Grundtyp eine echte Deviation ist.

In der Literatur begegnet uns der erste Hinweis auf eine langsame gleitende Augenbewegung 1891 gleichzeitig bei HERING und LANDOLT. 1893 verweist v. KRIES, 1895 BROWN darauf. DODGE macht 1903 schon ziemlich genaue Untersuchungen über die "Folgebewegung", wie er sie nennt. Diese werden 1907 von BÁRÁNY, 1912 von OEHRWALL und 1914 vor allem von GERTZ fortgesetzt. 1925 von DOHLMAN und CORDS wieder aufgenommen. In dieser Zeit gibt HOFMANN eine eingehende Beschreibung über die zentrale Entstehung der Führungsbewegung. KESTENBAUM untersucht 1929 an Säuglingen die Entwicklung von Augenbewegungen. Erst in jüngster Zeit nahmen WESTHEIMER 1954, DRISCHEL 1958 und SÜNDERHAUF 1960 die Untersuchungen mit modernen Methoden wieder auf.

Die Fähigkeit des Auges, einem mit konstanter Geschwindigkeit hin- und hergeführten Objekt langsam und gleitend zu folgen, beschrieben schon HERING und LANDOLT. Sie gaben auch an, dass der Versuch, diese Gleitbewegung willkürlich herbeizuführen, niemals gelingt. Immer wandert dabei die Blicklinie ruckartig, ob sie nun zwischen zwei Objekten, über eine bedruckte oder unbedruckte Seite oder an einer Linie entlang geführt wird. Sogar im verdunkelten Raum oder bei geschlossenen Augen zerfällt die Bewegung in eine Reihe von

Rucken. V.KRIES, BROWN, DODGE, OEHRWALL und CORDS bestätigten diese Beobachtungen.

Selbst die intensive Vorstellung eines langsam vorbeigleitenden Gegenstandes bringt keine entsprechende Augenbewegung zustande. Die optische Bewegungswahrnehmung scheint unerlässlich zu sein. GERTZ berichtet allerdings von seiner Fähigkeit, nach langer Übung und nur bei guter Disposition auch willkürlich die Augen gleitend bewegen zu können. Er beschreibt ferner Versuche, in denen der optische Bewegungsreiz von solchen taktiler oder akustischer Art ersetzt wurde. Vor allem erhielt er Ansätze gleitender Augenbewegung über die Vermittlung der Tiefensensibilität. Die eigene Hand wird mit ausgestrecktem Finger hinter einem Schirm verborgen hin- und hergeführt, die Augen versuchen dann das unsichtbare Objekt zu verfolgen. Die Bewegung verläuft unsicher und wird von vielen Rucken überlagert, aber mit ungefähr derselben Geschwindigkeit und Amplitude, in der die Hand bewegt wird. Durch Unterstützung auch der zweiten Hand nimmt die Sicherheit der Gleitbewegung merklich zu.

Eine ideale, gleitende Führungsbewegung kommt aber doch wohl nur über den optischen Sinneseindruck einer gleitenden Objektbewegung zustande. Nach HOFMANN gehört die Führungsbewegung zur Gruppe der "psycho-optischen Reflexe", die eine Sonderstellung zwischen den echten Reflex- und den Willkürbewegungen einnehmen. Die eigentlichen Reflexe vollziehen sich auch ohne Aufmerksamkeit und ohne zum Bewusstsein zu gelangen - manchmal werden sie durch die Aufmerksamkeits-

zuwendung sogar gehemmt. Bei den psycho-optischen Reflexen dagegen löst ein Sinnesreiz den Reflexvorgang erst aus, wenn er zu einer bewussten Wahrnehmung geführt hat, wenn also der Reflexbogen durch eine besondere Stimmung des Bewusstseins gangbar gemacht ist. Zu den psycho-optischen Reflexen zählen die Augenbewegungen, die durch eine Aufmerksamkeitszuwendung entstehen und dann reflektorisch ablaufen. Ausser der Führungsbewegung gehören auch die optisch ausgelösten Blickbewegungen und die Fusionsbewegungen dazu. Immer wird das Netzhautbild zum Bewegungsreiz. Bei der Blickbewegung trifft der Reiz die Netzhautperipherie, bei der Führungsbewegung eine exzentrische Stelle der Fovea. HOFMANN bezeichnet die Fovea-Mitte als den Nullpunkt des oculo-motorischen Apparates. Jede exzentrische Netzhautstelle besitzt einen motorischen Reizwert.

Die psycho-optischen Reflexe unterscheiden sich von den echten Reflexen ausserdem durch die Länge ihrer Latenz- oder Reaktionszeit. DODGE, ERDMANN u. DODGE und HUEY gaben diese für Blickbewegungen mit 162, 17o und 196 σ an, WESTHEIMER fand bei Führungsbewegungen je nach der Objektgeschwindigkeit Werte von 15o - 25o σ . Sie entsprechen der üblichen Latenz auf Sinnesreize.

Schon vor HOFMANNs Begriffsprägung der psycho-optischen Reflexe finden sich in der Literatur Hinweise auf diesen Tatbestand. HERING spricht von einer "ganz besonderen Art von Reflexen", und später betont v.KRIES noch einmal eindringlich, wie wichtig die Aufmerksamkeit für das Zustandekommen dieser Bewegungsformen sei.

Exakte Untersuchungen über das Wesen der Führungsbewegung stellte zuerst DODGE an. Er benützte eine photographische Registrieranordnung (nach DODGE u. CLINE), die einen Lichtreflex an der Cornea-Conjunctiva-Grenze kontinuierlich aufzeichnet. Als Führungsobjekt diente ein mit gleichmässiger Geschwindigkeit wanderndes weisses Papierband mit schwarzen Kreuzen in regelmässigen Abständen. DODGE fand eine gleitende Bewegung, deren gleichmässige Geschwindigkeit derjenigen des führenden Objekts entsprach. Jedoch waren in gewissen Abständen kleine Rucke in Richtung der Bewegung eingestreut. DODGE deutete diese feinen Blickbewegungen von ungefähr 1° Ausmaß als Geschwindigkeitskorrekturen, da die Blicklinie immer ein wenig hinter der "Interessenlinie" zurückzubleiben scheine. Dieselben Rucke zeigten sich aber auch bei geringeren Führungsgeschwindigkeiten. Ebenso findet OEHRWALL mit der Nachbildmethode und bei direkter mikroskopischer Beobachtung ständig in die Gleitbewegung eingestreute feine Rucke, die er analog denen bei Fixation eines ruhenden Punktes "Elementarfixationen" nennt. Jedoch seien die Korrekturbewegungen bei Fixation eines bewegten Punktes eher etwas kleiner, als bei Fixation eines ruhenden Punktes. Das Auge sei also geschickter, ein sich kontinuierlich bewegendes Objekt getreu zu verfolgen, als einen ruhenden Punkt dauernd zu fixieren. Neueste Untersuchungen, die DRISCHEL mit einer photoelektrischen Registrieranordnung und WESTHEIMER mit einer modifizierten Augenbewegungskamera, die Spuren von Lichtreflexionen der Cornea auf einen kontinuierlichen Film registriert, anstellten,

bestätigten diese Ergebnisse. Eine vollkommen ideale Gleitbewegung gibt es nicht. Sie wird immer durch kleine Rucke in der Art von Blickbewegungen unterbrochen. Nach WESTHEIMER liegen diese Sakkaden in der Grössenordnung von 1° und etwas darüber und sind der Objektbewegung teils gleich-, teils entgegengerichtet. Die Rucke haben keine Geschwindigkeitsänderung der nachfolgenden Führungsbewegung zur Folge, sie korrigieren alle Positions- und Geschwindigkeitsfehler. Nach DRISCHEL sind die eingestreuten Rucke etwas kleiner, sie liegen um 2o - 5o' und erfüllen die Korrekturfunktion im Rahmen eines fixationsregelnden Mechanismus. Auffallend häufig erscheinen Rucke zu Gruppen von 2,3 und 4 zusammengefasst, wobei innerhalb einer solchen Folge das letzte Ruckintervall mit durchschnittlich 22o σ grösser als die vorausgehenden (durchschnittlich 9o σ) ist. Zur endgültigen Stellungskorrektur wird nach DRISCHEL eine längere Reaktionszeit benötigt.

Übersteigt die Führungsgeschwindigkeit eine gewisse Höhe, so vermag das Auge sein Objekt nicht mehr stetig zu verfolgen, mehr und immer gröbere Rucke werden nötig, um Geschwindigkeit und Lagefehler auszugleichen, und schliesslich zerfällt die Führungsbewegung vollkommen in einzelne Blickbewegungen. Die extremen Endpositionen des Führungsobjektes werden dann meist nicht mehr erreicht. Schon bei HERING finden wir den Hinweis, dass die Objektbewegungen nicht zu rasch sein dürfen, weil sonst statt der gleitenden wieder ruckweise erfolgende Augenbewegungen auftreten. OEHRWALL erhält besonders präzise Führungsbewegungen im Geschwindigkeitsbereich von

1 - 15°sec^{-1} und nach WESTHEIMER liegt die Zerfallsgrenze bei einer Geschwindigkeit von 25 - 30°sec^{-1}. Untersuchungen über die Sehschärfe bei ansteigenden Winkelgeschwindigkeiten bis 170°sec^{-1} haben gezeigt, dass sie erst im Bereich über 50°sec^{-1} fortschreitend abnimmt. Solange das Auge genau zu folgen vermag, ist also ein deutliches Netzhautbild vorhanden (WESTHEIMER).

Bei konstanter Winkelgeschwindigkeit des Zielobjektes folgen die Augen nach einer anfänglichen Reaktionszeit von 150 - 250 σ (mit steigender Geschwindigkeit nimmt die Reaktionszeit nach WESTHEIMER ab) und innerhalb eines bestimmten Bereichs mit ungefähr derselben Geschwindigkeit. Wie verhalten sich aber Führungsbewegungen bei wechselnder ungleichförmiger Objektgeschwindigkeit? Darüber geben - mindestens teilweise - Untersuchungen Auskunft, bei denen sich die Geschwindigkeit im Sinn einer trigonometrischen Sinusfunktion änderte (CORDS, WESTHEIMER, DRISCHEL, SÜNDERHAUF). Das Auge folgte einem in verschiedenen Amplituden und Frequenzen horizontal schwingenden Lichtpunkt oder Schachbrettmuster ziemlich getreu. Die Führungsbewegung zeigt nach anfänglicher Reaktionszeit deutlich dieselben Beschleunigungen und Verzögerungen ihrer Geschwindigkeit wie das Objekt. Lernvorgänge scheinen dabei keine grosse Rolle zu spielen oder sehr schnell abzulaufen, denn das Einschwingen erfolgt schon innerhalb einer einzigen Periode. Aber eine gradweise Acceleration und Deceleration ist nur zu erwarten, wenn eine Vorausnahme möglich ist. Bei unvorhergesehenen wechselnden Geschwindigkeiten erfolgen in der Antwort alle Änderungen sprungweise (WEST-

HEIMER). Für eine gewisse Vertrautheit mit dem Bewegungsmuster spricht auch der bei niederen Frequenzen (nach DRISCHEL bis zu 1 Hz bei einer Amplitude von 1^{o}) erscheinende positive Phasenwinkel, d.h. bei langsamer Objektbewegung eilen die Augen dieser etwas voraus, sie stellen sich auf das Objekt mit "Vorhalt" ein. Mit steigender Frequenz bewegen sich zunächst Augen und Objekt in Phase, dann bleiben jene allmählich zurück, der Phasenwinkel wird negativ. Überschreitet er eine bestimmte Grösse (nach DRISCHEL 50 $\mathcal{C}$), so zerfällt die Führungsbewegung in Blickbewegungen. Auch die Amplituden zeigen wechselndes Verhalten. Bei sehr langsamer Führung sind sie etwas grösser als die Reizamplitude, nehmen aber mit wachsender Frequenzzahl mehr und mehr ab und sind bei 3,5 Hz (mit 6^{o} Amplitude, DRISCHEL; 5^{o} Amplitude, SÜNDERHAUF) nicht mehr zu messen. Die Amplituden sind ferner abhängig von der Grösse der Reizamplitude, bei ihrer Zunahme sinken sie ab (SÜNDERHAUF). Schliesslich stehen auch Phasenverschiebung und Amplitude in Korrelation. Je grösser bei einer bestimmten Frequenz die Amplitude ist, desto negativer wird der Phasenwinkel und umgekehrt (DRISCHEL).

In Abhängigkeit von Geschwindigkeitsänderungen finden sich bei der sinusförmigen Führungsbewegung ebenfalls mehr oder weniger zahlreiche Einzelrucke und Ruckfolgen. Nach DRISCHEL zeigen sie sich in ihrer Gesamthäufigkeit, in ihrer Verteilung auf die Sinusperiode und in ihrer Richtung spezifisch frequenzabhängig. Ein Ruckminimum liegt im optimalen Frequenzbereich, wo das Auge seinem Ziel ohne Zeitfehler folgt, während

sich die Sakkaden mit zunehmendem Phasenwinkel - positiv oder negativ - diesem proportional häufen. Ihre Richtung ist bei positivem Phasenwinkel entgegengesetzt, bei negativem der Bewegungsrichtung gleichgerichtet. Diese Verteilung entspricht ihrem Zweck, Abweichungen der Führungsbewegung zu verbessern. Beide Bewegungsformen zeigen aber weitgehende Unabhängigkeit voneinander, so dass sie DRISCHEL im Sinn der Regeltechnik zwei gesonderten Regelkreisen zuordnet, einem Gleit- und einem Ruckmechanismus. Erst das koordinierte Zusammenwirken beider ermöglicht den optimalen Regelerfolg. Die beiden Kreise unterscheiden sich nach DRISCHELs Vorstellungen möglicherweise in ihren peripheren Gliedern, sicher im Niveau ihrer zentralen Schaltstellen. Diese liegen nach DRISCHEL beim Ruckmechanismus, der die "unstete" Regelung bewirkt, wohl in tieferen Kerngebieten, beim Gleitmechanismus entsprechend der höheren Koordinations- und Integrationsleistung in der Rinde. Diese Anschauung stützt sich auch auf KESTENBAUMs Untersuchungen über die Entwicklung der Augenbewegungen. Sie zeigen, dass Säuglinge schon in der 2. - 3. Woche Einstellbewegungen ausführen können, dass die "Führungsbewegung" zu diesem Zeitpunkt aber noch aus einer Folge von aneinandergereihten Sakkaden besteht. Der Übergang zur echten gleitenden Führungsbewegung erfolgt erst im 3. - 5. Monat. Das spätere Entwicklungsstadium entspricht höher gelegenen Zentren und Bahnen.

Auch WESTHEIMER und SÜNDERHAUF nehmen das Zusammenwirken zweier Regelkreise an, wobei SÜNDERHAUF einem inneren Regel-

kreis mit Fühlern in Muskel- und Sehnenspindeln und dem Zentrum im Augenmuskelkerngebiet einen äusseren Regelkreis gegenüberstellt, dessen Messglieder in der Netzhaut und dessen Schaltstellen in der Sehrinde liegen. Während der innere Kreis für das Aufrechterhalten der gleitenden Grundbewegung sorge, unterliege dem äusseren die feine Korrektur. Er entspreche in der Verknüpfung seiner Glieder der Reflexbahn von HOFMANNs psycho-optischen Reflexen und die Aufgaben beider decken sich weithin. So erklärt uns die Annahme eines Regelkreises die eigenartige Stellung der "psycho-optischen Reflexe" zwischen echten unbewussten Reflexen einerseits und freien Willkürbewegungen andererseits.

Das schon erwähnte Phänomen des positiven Phasenwinkels - also einer Augeneinstellung mit Bewegungsvorhalt - und die Vorwegnahme einer vertrauten Geschwindigkeitsänderung unter Elimination der Reaktionszeit, wie sie der gradweisen Beschleunigung und Verlangsamung zugrundeliegt, passt nicht zur Auffassung vom rein fixationsmechanischen Zustandekommen der Führungsbewegung. Ebenfalls gegen diese Ansicht spricht ein anderes Untersuchungsergebnis (WESTHEIMER, MACKENSEN u. v.NOORDEN), nämlich die "Nachbewegung". Hört nach einiger Zeit der Stimulus des führenden Objekts plötzlich auf, so setzt sich die Bewegung noch mindestens 100 σ lang fort. Sie beharrt dabei nicht etwa in der Momentangeschwindigkeit, die sie zur Zeit des Objektentzugs hatte, sondern setzt ihr sinusförmiges Pendeln fort. Selbst die Umkehr der Bewegungsrichtung wird ohne Amplitudenveränderung beibehalten. Weiter er-

setzte WESTHEIMER den kohärenten Lichtreiz eines wandernden Führungsobjektes durch einen intermittierenden, d.h. durch eine Reihe schnell aufeinanderfolgender Lichtpunkte. Die Führungsbewegung läuft während der Pausen ungestört weiter, die Augen treffen am richtigen Ort wieder auf den nächsten Reizpunkt. Übrigens geht die Beobachtung, dass die Augenbewegungen noch einige Zeit nach Verschwinden des Objekts weiterbestehen, schon auf DODGE zurück. Er nannte sie "Gewohnheitsbewegungen", wohl weil er die Erscheinung als Zeichen für ein zur Gewohnheit gewordenes Bewegungsschema nahm. Vom führenden Objekt und vielleicht auch von der bereits ausgeführten Bewegungsfolge scheinen noch nachklingende motorische Impulse auszugehen. Möglicherweise wirken diese gespeicherten Impulse nicht erst nach Ausschalten des Zielobjekts, sondern schon während dessen Führung als automatische Bewegungsregulation.

Alle erwähnten Untersuchungsergebnisse wurden bisher ausschliesslich an einer Sonderform der Führungsbewegungen, dem sinusförmigen Horizontalpendeln, gewonnen. Bei diesen periodisch wiederkehrenden Bewegungsabläufen handelt es sich aber sehr wahrscheinlich um eine bevorzugte, auch in der übrigen motorischen Regulation häufige Bewegungsform. So zeigen Blickbewegungen sinusähnliche Bewegungsabläufe (MACKENSEN). Für die Sonderstellung der sinusförmigen Bewegungsabläufe sprechen ferner Untersuchungen von TEN DOESSCHATE, der ein im Drehpunkt des Auges abgebildetes Objekt "fixieren" liess. Dabei kann zwar niemals ein scharfes Netzhautbild entstehen, die Lage dieses "Objektes" ist jedoch von der Blickrichtung

unabhängig, und deshalb ist auch keine Regulation der Augenstellung über den Fixationsmechanismus möglich. Das diffuse Bild auf der Retina erzeugt unter diesen Umständen spontane Pendelbewegungen geringer Frequenz, die TEN DOESSCHATE als den eigenen, individuell-charakteristischen Rhythmus eines primitiven Mechanismus deutet. Dieser beherrsche die Augenbewegungen, wenn die optischen Regulationen ausgeschaltet werden. - Auf aperiodische, ungleichförmige Objektbewegungen, denen die Augen normalerweise häufiger folgen müssen als periodischen Bewegungen, lassen sich die an einer bevorzugten Sonderform geprüften Ergebnisse nicht ohne weiteres übertragen.

Eine Form der gleitenden Augenbewegungen, die sich ohne Aufmerksamkeitszuwendung rein reflektorisch vollzieht, wurde von GERTZ als kompensatorische Führungsbewegung bezeichnet. Sie kommt zustande, wenn der Kopf geschüttelt oder gedreht wird. Dabei behalten die Augen ihre ursprüngliche Blickrichtung bei, sie führen also eine zur Kopfbewegung gegensinnig gleitende Bewegung aus. Um sie auszulösen, ist es nicht nötig, einen bestimmten ruhenden Gegenstand während der Kopfbewegung zu fixieren. Sie entsteht auch im dunklen Raum oder bei geschlossenen Augen. Neben optokinetischen Impulsen sind hier offenbar vestibuläre Einflüsse wirksam. Diese Gleitbewegung ist sicherer und ruhiger als die Führungsbewegung und erreicht eine wesentlich höhere Zerfallsgeschwindigkeit. HERING nennt sie deshalb eine ideale Gleitbewegung.

Eine Sonderform der Führungsbewegungen stellen die Spiegelraumbewegungen nach RIEKEN dar. Schwenkt man einen Spiegel um eine beliebige Achse, so führen die Augen gleitende Bewegungen aus, die mit dem Rhythmus und der Richtung der Spiegeldrehung präzise gekoppelt sind. Bei dieser Versuchsanordnung kommt der optische Eindruck zustande, der Umweltraum bewege sich tatsächlich. Bei der Spiegelraumbewegung ist keine bewusste Fixation eines Objekts, nicht einmal eine Fixationsabsicht erforderlich. Auch die Aufmerksamkeitszuwendung ist nicht von Bedeutung. Die Auslösung der Bewegungen erfolgt unwillkürlich. Von allen optisch ausgelösten Augenbewegungen hat die Spiegelraumbewegung den ausgeprägtesten reflektorischen Charakter. Von einer anderen Bewegungsform, dem optokinetischen Nystagmus, unterscheidet sie sich nur durch die Stärke des optokinetisch wirksamen Reizes. Dieser wird durch Bewegung eines flächigen Musters ausgelöst, dem die Aufmerksamkeit allgemein zugewandt ist, ohne dass ein bestimmtes Detail des Musters herausgegriffen und fixiert wird. Der optokinetische Nystagmus besteht aus einer in Richtung und Geschwindigkeit des Reizmusters gleitenden Bewegung, die von Rucken entgegengesetzter Richtung unterbrochen wird. Die langsame Komponente des optokinetischen Nystagmus wird von vielen Autoren als besondere Form der Führungsbewegung aufgefasst. In der Entwicklung tritt der optokinetische Nystagmus zusammen mit den ersten gleitenden Führungsbewegungen im 3. - 5. Lebensmonat auf. Auch andere Erscheinungen entsprechen sich, so z.B. der Nachnystagmus und die Nachbewegungen der sinusförmigen Führungsbewegung.

Bei den Spiegelraumbewegungen ist ein sehr starker optokinetischer Reiz wirksam, der von einem räumlich gestaffelten Reizmuster ausgeht. Die Augen können sich dieser Wirkung nicht entziehen, es handelt sich um eine optokinetische Zwangsbewegung. Der optokinetische Nystagmus kann schon leichter unterdrückt werden, allerdings nur, wenn die Aufmerksamkeit von der reizwirksamen Ebene durch Fixation eines davor gelegenen Objektes abgelenkt wird. Am einfachsten ist es schliesslich, sich der optokinetischen Wirkung eines einzelnen Punktes zu entziehen. Deshalb ist zur Auslösung unserer Führungsbewegungen mit einzelnem Führungsobjekt ein ziemlich hoher Grad von Aufmerksamkeit erforderlich.

Nach diesen Überlegungen dürfen wir nicht mehr annehmen, dass die Führungsbewegung nur eine Sonderform der Fixation darstellt. Sie wird vielmehr vom optokinetischen Reiz eines bewegten Objektes ausgelöst, dem die Aufmerksamkeit zugewandt ist. Der Fixationsmechanismus greift regelnd ein, besonders, wenn das Führungsobjekt die Aufmerksamkeit anzieht. Für besondere Formen, z.B. die sinusförmige Pendelbewegung, scheinen sich Bewegungsschablonen zu bilden, die steuernd in den Ablauf der Bewegung eingreifen.

II. Methodik

Die ersten Untersuchungen der Augenbewegungen wurden mit einfacher Beobachtung, eventuell mit Lupe oder Augenspiegel, durchgeführt. Dabei diente ein Conjunktiva- oder Retinagefäss als Orientierung (HERING, LANDOLT, KESTENBAUM u.a.). Subjektiv geben Nachbilder einen Eindruck vom Ablauf einer Bewegung und ihrer Geschwindigkeit (OEHRWALL, GERTZ u.a.). Aber die Beschreibung ist in beiden Fällen schwierig, so dass man Methoden finden musste, die jeden Bewegungsablauf sogleich graphisch darstellen. Dafür gibt es verschiedene Möglichkeiten. Einmal die mechanische Bewegungsübertragung auf eine Registriervorrichtung, meist mit Hilfe eines direkt oder mit Haftschalen am Auge angebrachten Hebels, oder einer aufs Auge aufgesetzten MAREY'schen Kapsel zur Übertragung der Druckschwankungen. Zum andern die photographische oder photoelektrische Aufzeichnung eines je nach Augenstellung an der Cornea verschieden stark reflektierten Lichtstrahls. Vor allem die photoelektrische Registrierung, bei der das zurückfallende Licht über ein Photoelement in elektrische Energie umgewandelt wird, arbeitet mit grösster Feinheit und Präzision. Sie ist aber auch in ihrer Justierung äusserst empfindlich, so dass sie für klinische Untersuchungen und bei Kindern nicht geeignet ist. Auch die Methoden der mechanischen Bewegungsübertragung scheiden dafür aus, schon weil sie durch die Befestigung eines Gegenstandes am Auge direkt eine erhebliche Belastung für die Untersuchungsperson bedeuten. Ausserdem beeinträchtigen diese Verfahren die Bewegungsfreiheit.

Eine dritte Möglichkeit der Bewegungsregistrierung ist die Elektrooculographie (EOG), die wir auch zu unseren Untersuchungen über die Führungsbewegungen normalsich-

tiger Kinder verwandten. Im Gegensatz zu den erstgenannten Methoden ist sie für klinische Untersuchungen verhältnismässig leicht und fast ohne Belästigung für den Patienten zu handhaben. Die EOG, so genannt nach MONNIER, beruht auf der Ableitung von Potentialschwankungen an den seitlichen Lidwinkeln bzw. am anderen Orten der Augengegend.

SCHOTT, der 1922 zum ersten Mal Augenbewegungen mit dieser Methode erfasste, deutete die Entstehung der Potentialänderungen noch als Folge der Verschiebung von elektrolytischer Tränenflüssigkeit. Eine andere Ansicht ging dahin, es handle sich um Aktionspotentiale der tätigen Augenmuskeln. Erst 1936 fanden MOWRER, RUCH und MILLER die richtige Erklärung für das Auftreten des elektrischen Spannungsfeldes in der Augenumgebung und seine Veränderung bei aktiver und passiver Bewegung des Augapfels. Sein Ursprung liegt in dem corneo-retinalen Potential des Augapfels, schon 1849 von DU BOIS-REYMOND beschrieben, so benannt nach den beiden Hauptspannungspolen, dem elektronegativen hinteren Pol und dem elektropositiv erscheinenden vorderen Pol des Augapfels. Im Gegensatz zum Belichtungspotential, das nur während der sensorischen Tätigkeit der Retina auftritt, wird es auch das Ruhe- oder Bestandspotential genannt. Es ist immer, auch in völliger Funktionsruhe, am Augapfel ableitbar, und sogar noch an der isolierten Netzhaut nachzuweisen (HOLMGREN, DEWAR, PIPER u.a.). Dagegen verschwindet es bei Ablösung oder Zerstörung der Netzhaut oder auch nur der Sinneszellen und Zerstörung des Pigmentepithels. HECK und PAPST beziehen das Ruhepotential auf den Elektrolytstoffwechsel. Es entsteht nach Ansicht dieser Autoren an der Membran des Pigmentepithels. Andere Autoren (PIPER, OTTOSON und SVAETICHIN) halten das Bestandspotential hauptsächlich für eine Spannungsdifferenz zwischen Basis und freien Enden der Stäbchen. Gegenüber der Nervenfaserschicht verhalten sich die

Sinneszellen elektrisch negativ (DU BOIS-REYMOND, HOLMGREN u.a.).

Das corneo-retinale Potential ist, wie schon erwähnt, nicht nur von der Augapfeloberfläche, sondern auch von benachbarten Orten ableitbar. Es ändert sich dann bei jeder Augenbewegung in charakteristischer Weise. Die Wahl der günstigsten Ableitungspunkte ist deshalb abhängig von der jeweiligen Bewegungsrichtung. Für horizontale Bewegungen, wie sie bei unseren Untersuchungen ausgeführt wurden, ist der günstigste Ableitungspunkt der temporale Lidwinkel noch innerhalb des knöchernen Orbitalrandes (MACKENSEN). Man kann die Potentialänderungen von jedem Auge einzeln (monocular, unipolar) gegen einen indifferenten Punkt, z.B. das Ohrläppchen, ableiten, oder die Potentiale beider Augen (binocular, bipolar, bitemporal) erfassen. Bei der monocularen Ableitung bewirkt eine Bewegung zur Nase hin eine Abnahme, eine solche zur Schläfe hin eine Zunahme des abgeleiteten Potentials. Koordinierte Augenbewegungen sind bei beidäugiger unipolarer Ableitung also durch gegensinnige Potentialänderungen charakterisiert. Die bitemporale Ableitung registriert beim Blick geradeaus ein Nullpotential, das bei Abweichungen aus dieser Mittellage heraus positiv bzw. negativ wird. Nach FENN u. HURSH und MACKENSEN u. HARDER bestehen bei der bitemporalen Ableitung bestimmte Beziehungen zwischen Potentialhöhe und Bewegungsausmaß, und zwar entspricht das abgeleitete Potential dem Sinus des entsprechenden Deviationswinkels. Dies bedeutet für Bewegungsgrössen bis 30° nach links und rechts aus der Mittellage praktisch eine direkte Proportionalität, da in diesem Bereich Bogenlänge und Sinus der betreffenden Winkel fast übereinstimmen. Für die monocularen Ableitungen trifft diese Abhängigkeit jedoch nicht zu.

Beschreibung der Untersuchungsanordnung:

Das untersuchte Kind sitzt bequem, den Kopf mit einer Kinn- und Stirnstütze fixiert. Es bekommt den Auftrag, mit den Augen einem in verschiedenen Frequenzen horizontal schwingenden Führungsobjekt aufmerksam zu folgen. Als solches dient ein kreisrunder Punkt von 3o' Grösse, der von einem SCHOBERschen Lichtpunktwerfer (Fa. I.D. Möller) durch ein rotes Farbfilter auf eine Halbkugel von 16o cm Radius projiziert wird (Abb. 1).

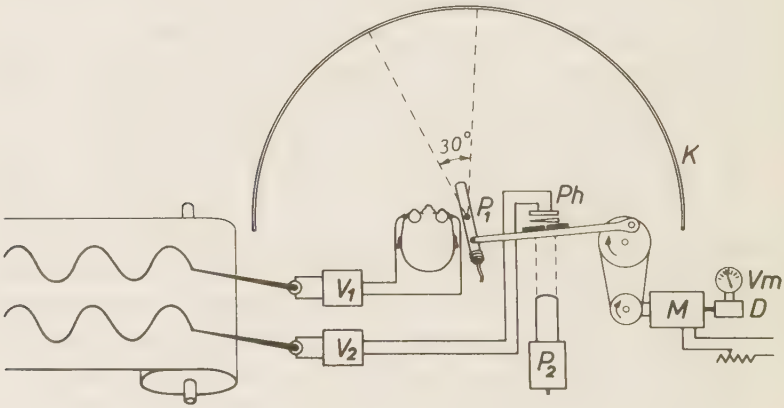

Abb. 1 Untersuchungsanordnung.

Diese ist gleichmässig mit einer Leuchtdichte von 5 asb ausgeleuchtet. Der Projektor für das Führungsobjekt ist in seiner Vertikalachse der Halbkugel an einer gut gelagerten senkrechten Achse so aufgehängt, dass er über eine Exzenterscheibe und

eine Pleuelstange sinusförmig pendelnd hin- und herbewegt werden kann. Das projizierte Führungsobjekt beschreibt dabei in der Höhe des horizontalen Netzhautmeridians sinusförmige Bewegungen über einen Kreisbogenabschnitt von 30^{o}. Der Antrieb erfolgt von einem gleichmässig laufenden Motor mit Schneckengetriebeuntersetzung. Die Umlaufgeschwindigkeit des Motors wird mit einem Widerstand geregelt. Mit dieser Anordnung sind Objektbewegungen mit Führungsfrequenzen von 0,25 bis 1,6 Hz auszulösen. Dem entsprechen Maximalgeschwindigkeiten von 23 bis etwa $150^{o}sec^{-1}$. Die Einstellung der gewünschten Führungsfrequenz wird dadurch möglich gemacht, dass ein kleiner Gleichstrom-Präzisionsmotor als Dynamo geschaltet von dem antreibenden Motor in Umlauf gesetzt wird; die dabei erzeugte Dynamo-Klemmenspannung ist der Umlaufgeschwindigkeit direkt proportional. Nach einem entsprechend geeichten Voltmeter kann deshalb die gewünschte Führungsfrequenz bequem eingestellt werden. Eine zweite Vorrichtung dient der genaueren Kontrolle der Führungsgeschwindigkeit, sie fixiert ausserdem die Bahn des führenden Objekts in einer sinusförmigen Kurve auf dem Papierstreifen des Registriergerätes: auf der Pleuelstange ist eine Blende mit einem vertikalen Schlitz befestigt, die den sinusförmigen Bewegungen der Stange entsprechend vor einem Photoelement hin- und herbewegt wird. Zwischen der bewegten Schlitzblende und dem rechteckigen Photoelement befindet sich eine keilförmige Blende. Das Feld der Keilblende wird von dem Licht eines Projektors gleichmässig beleuchtet. Aus diesem Lichtbündel blendet die bewegte Schlitzblende ein schmales Bündel

aus, das auf der Keilblende hin- und herläuft. Auf diese Weise werden zu den Bewegungen des führenden Objekts synchrone sinusförmige Spannungsschwankungen des Photoelementes hervorgerufen, die einem Kanal des Registriergerätes zugeleitet werden.

Die Ableitung der die Augenbewegungen begleitenden Potentialschwankungen erfolgt mit Silber-Klebeelektroden dicht am äusseren Lidwinkel. Registriert wurde die Kurve der gemeinsamen horizontalen Bewegung beider Augen (binoculare, bipolare, bitemporale Ableitung) sowie gleichzeitig die Bewegung jedes Auges für sich (unoculare, unipolare Ableitung: Auge gegen Ohr).

Die Registrierung der Führungsbewegung erfolgt mit einem Elektroencephalographen der Fa. Fritz Schwarzer GmbH., München. Das Gerät wurde für die Oculographie mit Spezialkanälen ausgerüstet.

Die Kanäle haben eine maximale Empfindlichkeit von etwa 300 μV je cm (dreifache EKG-Empfindlichkeit). Zur Vergrösserung der Ausschläge ist das Registriergerät mit einem Spreizzeigersystem ausgerüstet, das maximale Auslenkungen um $\pm$ 20 mm von der Mittelstellung der Schreibzeiger gestattet. Der Linearitätsbereich des Schreibsystems beträgt $\pm$ 18 mm. Das Registriergerät ist mit RC-Verstärkern versehen, die nur Wechselspannungen von einer bestimmten Mindestfrequenz amplitudenrichtig verstärken können. Um auch langsame Augenbewegungen nach Möglichkeit unverzerrt zu erfassen, wurde eine hohe Zeitkonstante (τ) gewählt. Sie beträgt bei unserem Gerät τ = 2,0 sec. Damit ist die untere Geschwindigkeitsgrenze der noch unverzerrt zu registrierenden Augenbewegungen festgelegt. Zwischen der unteren Grenzfrequenz (f_g) und der Zeitkonstanten besteht fol-

gende Beziehung: $f_g = \frac{1}{2\pi\tau}$. Für $\tau = 2{,}0$ sec ist $f_g = 0{,}079$ sec^{-1}. Die untere Grenzfrequenz ist als diejenige Frequenz einer sinusförmig rhythmischen Spannungsänderung definiert, deren Amplitude noch zu 71% ($\frac{1}{\sqrt{2}}$-facher Wert) vom Registriergerät wiedergegeben wird. Das Frequenzdiagramm der von uns verwendeten Registriersysteme mit RC-Verstärkern lässt erkennen, dass wir bei einer Zeitkonstanten von 2,0 sec nur von sinusförmigen Führungsbewegungen von etwa 0,5 Hz aufwärts erwarten können, dass sie auch amplitudenrichtig aufgezeichnet werden. Da uns jedoch vor allem die Qualität der Führungsbewegungen interessiert, spielt die Amplitudenverzerrung bei langsameren Führungsfrequenzen nur eine untergeordnete Rolle. Die den Führungsbewegungen überlagerten Ruckbewegungen werden unverzerrt dargestellt.

Die Aufzeichnungen erfolgen auf normalem nicht präpariertem Registrierpapier unter Verwendung eines besonderen Farbpapiers (Trockenschreibung). Der Andruck der Schreibzeiger an das Registrierpapier beträgt nur wenige Gramm. Zusätzlich wird an die Schreibsysteme eine feine Vibration von etwa 300 Hz gelegt. Dadurch wird die ohnehin schon geringe Restreibung zwischen Zeiger und Registrierpapier praktisch aufgehoben; ausserdem werden Remanenzerscheinungen im Schreibsystem vermieden. Verzerrungen der Kurven sind auf diese Weise nicht zu befürchten. Papiervorschub 160 mm/sec.

Mit der beschriebenen Methode wurden 30 vollsichtige Kinder im Alter zwischen 5 und 14 Jahren untersucht. Die Führungsbewegungen wurden nur binocular ausgelöst, um die Versuchszeit möglichst kurz zu halten und dadurch ein Nachlassen der Konzentration, wie sie vor allem bei jüngeren Kindern zu befürchten war, möglichst zu vermeiden. Untersuchungen an einzelnen Kindern, die zusätzlich mit monocularer Blickführung geprüft wurden, ergaben bei beiden Anordnungen volle Übereinstimmung in der Bewegungsausführung.

III. Ergebnisse

Vor der zusammenfassenden Darstellung der Ergebnisse soll an einer Folge von Kurvenausschnitten einer ausgewählten Versuchsperson gezeigt werden, wie Führungsbewegungen bei verschiedenen Führungsgeschwindigkeiten ablaufen. Bei der verhältnismässig grossen Streuung in der Güte der Durchführung, die von fast ideal gleitenden Führungsbewegungen bis zu grober Rucküberlagerung oder sehr frühzeitigem Zerfall in Blickbewegungen reicht, ist es nicht möglich, eine einzige repräsentative Kurve zu zeigen. Sie wurde so ausgewählt, dass sie möglichst viele allgemeine charakteristische Merkmale und wenig individuelle Eigentümlichkeiten enthält. Die Präzision der Bewegungsausführung liegt ungefähr in der Mitte der verschiedenen vorkommenden Möglichkeiten.

1. Vp.: S.,G., 13 Jahre (Abb. 2)
   Führungsgeschwindigkeit

   0,25 Hz: sinusförmig pendelnde Augenbewegungen in Objektführungsfrequenz. Zuerst fast gleitende, nur vereinzelt von Rucken überlagerte Bewegung, dann dichter folgende kleine Rucke. Sie sind teils gerichtet, teils ungerichtet, ziemlich gleichmässig über alle Kurvenabschnitte verteilt. Die geringe Kurvenabflachung ist in den Frequenzeigenschaften des Verstärkers bedingt (s.Methodik).

   0,4 Hz: Vereinzelt eingestreute gleichgerichtete Rucke, besonders vor und nach den Umkehrpunkten.

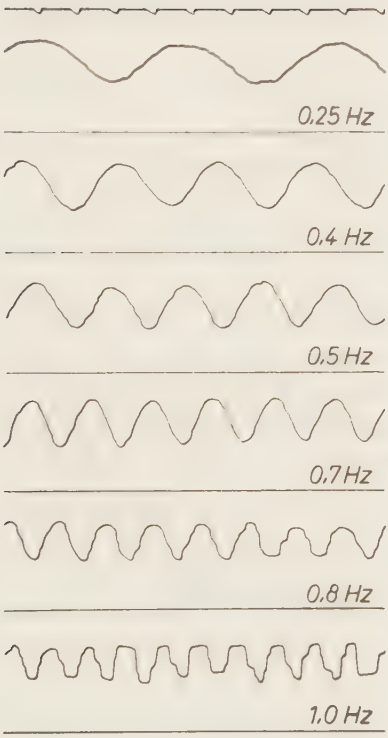

Abb. 2: Führungsbewegungen eines vollsichtigen Kindes bei zunehmenden Führungsgeschwindigkeiten. Erläuterung s. Text.

o,5 Hz: Nystagmusähnliche Folgen gleichgerichteter Rucke, vereinzelt ungerichtete Rucke. Erste Anzeichen beginnenden Zerfalls an den Umkehrpunkten (vor allem den linken, in der Kurve unten), die eckig-trogförmig oder zugespitzt erscheinen. Kritische Frequenz!

o,7 Hz: Beginnender Zerfall der gleitenden Bewegung in Blickbewegungen.

Leicht wellenförmige, das Objekt noch bis in die Endstellungen verfolgende Pendelbewegungen.

o,8 Hz: Fortschreitender Zerfall: Die Anteile der Blickbewegungen werden grösser. Neben einer einzelnen, fast gleitenden Bewegung ausgeprägte Wellenformen bis zum treppenartigen zerfall. Charakteristische eckige Verformung der Umkehrpunkte. Beginnende Kurvenabflachung.

1,o Hz: Fast vollständiger Zerfall in reine Blickbewegungen. Mäander- und Treppenformen. Wechselnde Amplituden. Deutliche Kurvenabflachung.

Die Auswertung der Kurven erfolgte hauptsächlich nach folgenden Gesichtspunkten:

1) Folgen die Augen der Bewegung des führenden Objekts?
2) Wird das Objekt bis in die Endstellungen verfolgt?
3) Wird das Objekt gleitend verfolgt? Oder sind Rucke überlagert?
4) Sind die Rucke gleichgerichtet mit der Bewegung, entgegengerichtet oder ungerichtet?
5) Bei welcher Geschwindigkeit zerfallen die Führungsbewegungen?

Es sei noch zuvor bemerkt, dass sich Lidschläge mit Hilfe der beiden monocularen Ableitungen sicher von Augenbewegungen unterscheiden lassen. Sie bewirken dort einander entgegengerichtete Ausschläge (Abb. 3).

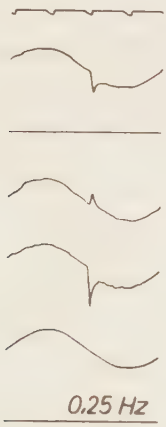

Abb. 3: Lidschlag. Zu erkennen an den entgegengesetzten Ausschlägen in den beiden monocularen Ableitungen.

1) Bei niederen Führungsgeschwindigkeiten bewegen sich die Augen dem führenden Objekt entsprechend. Es werden sinusförmig pendelnde Bewegungen in der Geschwindigkeit der jeweiligen Objektfrequenz ausgeführt. Von einer bestimmten, individuell verschiedenen Führungsgeschwindigkeit an ("K r i t i s c h e F r e q u e n z") vermag das Auge nicht mehr

stetig zu folgen, das Objekt wird mit einer schnellen Blickbewegung wieder eingeholt: geradlinige Strecken unterbrechen die Sinuskurve, die mit steigenden Frequenzen an Zahl und Länge solange zunehmen, bis schliesslich nur noch reine Blickbewegungen erfolgen: "Z e r f a l l d e r F ü h r u n g s b e w e g u n g e n".

2) Die Frage des Verfolgens des führenden Objektes bis in die Endpositionen kann wegen der Frequenzeigenschaften des benutzten Registriergerätes nur bei Führungsgeschwindigkeiten über o,5 Hz beurteilt werden. Von diesem Geschwindigkeitsbereich bis zur kritischen Frequenz zeigen die Sinuskurven fast immer ganz regelmässige Amplituden: Das Objekt wird offenbar bis in seine Endstellungen verfolgt. Auch noch bei beginnendem Zerfall (Geschwindigkeiten um und etwas oberhalb der kritischen Frequenz) bleiben die Amplituden im allgemeinen regelmässig. Erst bei höheren Geschwindigkeiten, wenn der Zerfall der Führungsbewegung fortschreitet, zeigen sich wechselnde Bilder: Einerseits durch überschiessende Blickbewegungen an den Endstellungen bedingte Amplitudenvergrösserung, meist in Form aufgesetzter Zacken. Andererseits Verkürzung als Zeichen vorzeitiger Umkehr, im Extrem ein Verharren in der Mittellage. Selten finden sich solche Formen symmetrisch nach beiden Seiten oder über einige Perioden hinweg; erst liegen sie vereinzelt eingestreut im sonst ruhigen Kurvenbild, um dann mit fortschreitender Geschwindigkeit in ganz regellose Verläufe überzugehen.

3) Auch bei langsamen Führungsgeschwindigkeiten, solange die Augen fähig sind, das Objekt in jedem Augenblick zu verfolgen, finden wir niemals eine ideal gleitende Bewegung. Stets ist die gleitende Grundbewegung von Rucken wechselnder Grösse, Richtung und Häufigkeit überlagert.

Dabei spielt sicherlich die psychische Komponente, d.h. die Aufmerksamkeitszuwendung, eine bedeutsame Rolle. Je mehr die Aufmerksamkeit ausschliesslich auf das Objekt gerichtet ist, umso mehr nähert sich die Augenbewegung dem Bild der ideal gleitenden Objektkurve. Ein Beispiel einer solchen sehr präzis ausgeführten, fast rein gleitenden Führungsbewegung zeigt Abb. 4.

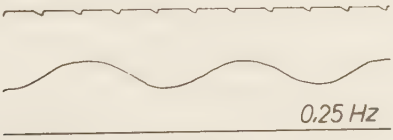

Abb 4: Beispiel für eine fast rein gleitende Bewegung.

Bei der Beurteilung der Kurven muss berücksichtigt werden, dass mit der elektrischen Registrierung nur Rucke von mindestens 1 Bogengrad erfasst werden. Es ist also durchaus möglich, dass den Führungsbewegungen noch feinere Rucke, etwa in der Grössenordnung der Fixationsrucke aufgepfropft sind.

4) Rucke.

Als Rucke erscheinen im Kurvenbild alle Arten von schnellen Augenbewegungen, die der gleitenden Grundbewegung überlagert sind. Sie bieten ein sehr mannigfaltiges und wechselndes Bild, je nach Richtung, Form und Grösse der Einzelrucke und vor allem bedingt durch deren Anordnung und durch Wechsel innerhalb von Ruckfolgen.

Die Rucke können in ihrer G r ö s s e ganz beträchtlich schwanken, von kleinsten, kaum wahrnehmbaren Abweichungen aus der Sinuskurve (Abb. 5a) bis zu groben Rucken von mehreren Bogengraden Ausmaß (Abb. 5b u. c). Je nach ihrer Grösse erscheinen sie als zarteste wellige Überlagerung, als Zacken, Stufen oder - bei starker Abweichung - als rechteckige Auslenkungen.

Meist liegt die R u c k r i c h t u n g in der Bewegungsrichtung (Abb. 5c). Kleine Blickbewegungen sind in die gleitende Grundbewegung eingestreut. Solche einfachen Stellungskorrekturen finden sich vorwiegend bei höheren Geschwindigkeiten ungefähr von der kritischen Frequenz an, während die Rucke bei langsamen Führungsbewegungen häufig verschiedene Komponenten aufweisen. Einmal können die Augen irgendwo den Kontakt mit dem Führungsobjekt verlieren, zurückbleiben, und dann das Objekt mit einer schnellen Blickbewegung einholen. Oder sie eilen diesem mit einem Ruck voraus und verhalten an einer bestimmten Stelle, um es dort wieder einzufangen. Dabei kann es auch zu einer Gegenkorrektur in Form einer Blickbewegung zurück, zu einem Gegenruck, kommen. Bei sehr kleinen Rucken lassen sich primäre und sekundäre Korrektionsrucke nicht mehr deutlich

a) feine, vorwiegend gerichtete Rucke

b) mittlere, gerichtete und ungerichtete Rucke

c) gröbere Rucke

d) ungerichtete und gerichtete Rucke

e) gröbere gerichtete Rucke, 1 x ungerichteter Ruck (↑)

f) Sehr grobe Rucke, Rechteckformen infolge Gegenkorrektur

g) abwechselnd gleitende und rucküberlagerte Strecken

h) Rucke vorzugsweise am linken Umkehrpunkt

i) Rucke mit Bevorzugung einer Blickrichtung. Hier beim Blick von links nach rechts

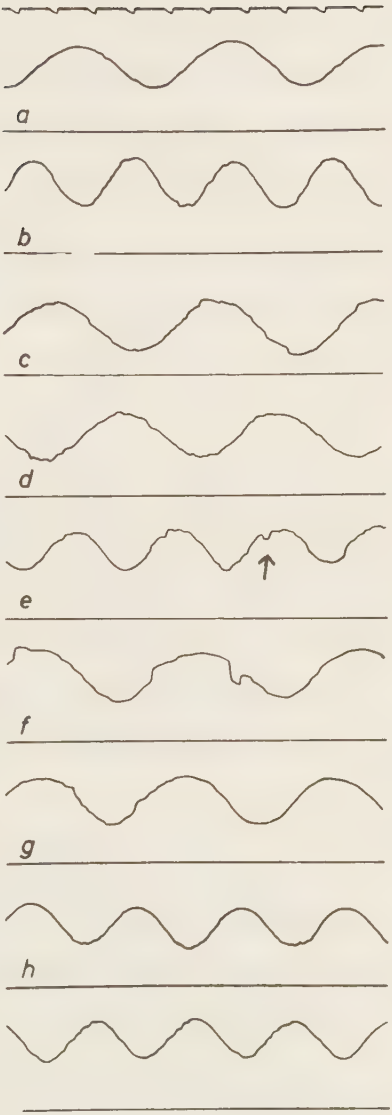

Abb. 5

unterscheiden, man erkennt nur hin- und herspringende, der Sinuskurve überlagerte kleine Wellen und Zacken. Ziemlich selten findet man auch Rucke, die primär - offenbar nicht als Korrektur - der Hauptbewegung entgegengerichtet sind und dann durch eine Blickbewegung in der Richtung des führenden Objektes korrigiert werden(Abb. 5e).

Je nachdem, ob die Rucke ausschliesslich in Richtung der Führungsbewegung liegen, also einander nystagmusartig folgen, oder in ihrer Richtung wechselnd hin- und herspringen, sprechen wir von g e r i c h t e t e n und u n g e r i c h t e t e n R u c k e n .

Die V e r t e i l u n g der Rucke kann über den ganzen Kurvenbereich relativ gleichmässig sein, doch beobachtet man auch häufig einen Wechsel zwischen Strecken mit fast rein gleitenden Bewegung und mit solchen einer deutlichen Rucküberlagerung (Abb. 5g).

Ferner beobachtet man mitunter bevorzugt Ruckfolgen an ganz bestimmten Kurvenabschnitten, z.B. den Umkehrpunkten (Abb. 5h).

S e i t e n b e t o n t e Rucke finden sich relativ häufig. So kann die Rucküberlagerung bevorzugt oder ausschliesslich bei Blickführung nach rechts oder nach links auftreten (Abb. 5i). Die Ruckrichtung ist offenbar individuell unterschiedlich.

Feste, allgemein-verbindliche Gesetzmässigkeiten für ein bestimmtes V e r h a l t e n d e r R u c k e b e i s t e i g e n d e r G e s c h w i n d i g k e i t lassen

sich zwar nicht feststellen. Doch fallen gewisse Erscheinungshäufungen auf. Ganz allgemein finden sich gerichtete Rucke weit häufiger als ungerichtete, ausserdem ist aber eine deutliche Abnahme der ungerichteten Rucke mit steigender Führungsfrequenz zu verzeichnen. Während sie bei langsamster Führung (o,25 Hz ≙ Maximalgeschwindigkeit $23^{o}sec^{-1}$) bei nahezu der Hälfte aller Kinder beobachtet werden, erscheinen sie bei o,4 Hz (≙ Maximalgeschwindigkeit von $37^{o}sec^{-1}$) nur noch bei einem Viertel, bei o,5 Hz (≙ Maximalgeschwindigkeit $47^{o}sec^{-1}$ der kritischen Frequenz bei einem Zehntel der 3o Versuchspersonen. Bei noch höheren Frequenzen (oberhalb der kritischen Frequenz) treten sie überhaupt nicht mehr auf.

Dagegen finden sich gerichtete Rucke bei fast allen Kindern und auf alle unterhalb des Zerfalls liegende Frequenzen verteilt. Allerdings ändert sich vielfach das Kurvenbild insofern, als mit wachsender Geschwindigkeit die anfänglich kleinen und häufigen Rucke allmählich grösser und seltener werden. Auch seitenbetonte Ruckfolgen treten mehr bei mittleren und höheren Geschwindigkeiten hervor.

5) Zerfall

Von einer bestimmten Führungsgeschwindigkeit an vermögen die Augen dem Objekt nicht mehr gleichmässig und stetig zu folgen. Sie liegt mit einer individuellen Streuungsbreite bei der Frequenz von o,4 bis o,7 Hz, was einer Maximalgeschwindigkeit von etwa 37 bis $66^{o}sec^{-1}$ entspricht (siehe Tabelle). Von dieser kritischen Frequenz an finden sich zunehmend stärkere Abweichungen vom sinusförmigen Verlauf.

Der beginnende Zerfall zeigt sich an kleinen Blickbewegungen, die in die gleitende Grundbewegung eingestreut sind. Anders als die regellos der Kurve überlagerten Rucke oder die ab und zu als Zeichen einer nachlassenden Konzentration sonst ruhige Kurvenstrecken unterbrechenden, groben Blickbewegungen - wie sie nicht selten ebenfalls schon bei langsamen Frequenzen beobachtet werden - finden wir hier ein ganz regelmässiges und sehr typisches Bild: Die kleinen Blickbewegungen, die das verlorene Objekt wieder einfangen, liegen kurz vor und nach den Umkehrpunkten, also an den Stellen der stärksten Beschleunigung bzw. Verzögerung. Sie reihen sich übergangslos zwischen die gleitenden Bewegungsanteile, so dass die ganze Kurve leicht wellenförmig ausgezogen wird. Die Umkehrpunkte erscheinen dabei trogförmig verbreitert und etwas abgeflacht (Abb.6a).

Bei weiterer Steigerung der Geschwindigkeit schreitet der Zerfall fort, der Anteil der gleitenden Bewegung wird immer geringer. Dadurch erscheint auch die Verteilung nicht mehr so typisch. Überschiessende Blickbewegungen an den Umkehrpunkten lassen diese nunmehr verschmälert oder mit aufgesetzten Ecken erscheinen. In der Kurvenmitte, der Stelle maximaler Geschwindigkeit, beobachtet man nun ebenfalls Blickbewegungen (Abb. 6b).

Bei einzelnen Kindern herrscht statt der Wellen- und die Treppenform vor. Hier sind die gleitenden Bewegungsanteile ganz verschwunden, das Auge durchmisst die Strecke mit 2 - 3 Blickbewegungen, die durch Pausen getrennt werden (Abb. 6c).

Ebenso wie die Ruckfolgen können auch die Zeichen des beginnenden und fortschreitenden Zerfalls bei Führung in eine Richtung bevorzugt auftreten (Abb. 6d).

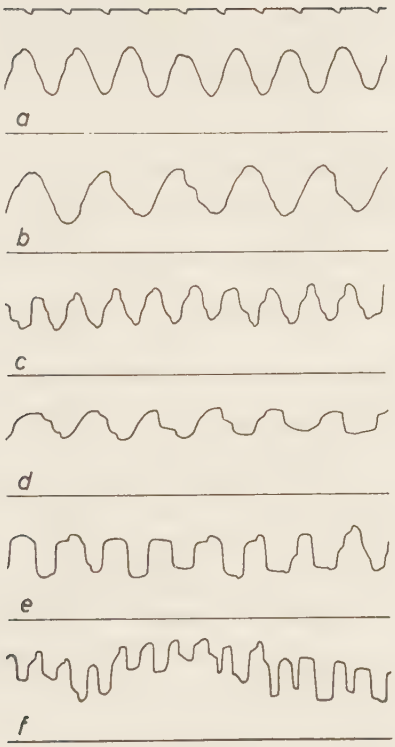

Abb. 6: Von a) nach f) fortschreitende Zerfallsformen. Erläuterung siehe Text!

Schliesslich wird eine Geschwindigkeit erreicht (o,7 bis 1,1 Hz) maximale Geschwindigkeit etwa $1o3^{o}sec^{-1}$; siehe Tabelle 1), bei der die Augen das führende Objekt nur noch in den Bereichen der geringsten Objektgeschwindigkeit, an den Umkehrpunkten, erreichen und vielleicht noch ein kleines Stückchen verfolgen können, der Rest ist in reine Blickbewegungen

Tabelle 1

VP	Alter Jahre	kritische Frequenz Hz	Zerfall Hz	VP	Alter Jahre	kritische Frequenz Hz	Zerfall Hz
1	5	o,5	1,o	16	12	o,7	o,8
2	6	o,4	o,8	17	12	o,5	1,1
3	7	o,5	?	18	12	o,4	o,7
4	8	o,5	o,8	19	12	o,5	o,8
5	8	o,5	o,8	2o	12	o,5	o,8
6	9	o,5	1,o	21	12	o,4	o,9
7	1o	o,5	1,o	22	13	o,5	o,8
8	1o	o,7	?	23	13	o,7	1,1
9	11	o,4	o,9	24	13	o,4	o,9
1o	11	o,7	1,o	25	14	o,5	1,o
11	11	o,7	?	26	14	o,5	1,o
12	11	o,5	o,8	27	14	o,4	o,7
13	11	o,4	1,o	28	14	o,4	o,7
14	11	o,5	o,8	29	14	o,5	1,o
15	12	o,4	o,8	3o	14	o,5	o,9
Mittelwerte						o,5	o,9

zerfallen. Häufig jedoch können die Augen das Objekt auch in seinen Endstellungen nicht mehr erreichen, weil es schneller wieder zurückkehrt: Die Amplituden werden kleiner und unregelmässig (Abb. 6b und f).

Tabelle 1 zeigt für jedes Kind, bei welchen Führungsgeschwindigkeiten die kritische Frequenz und bei welchen der Zerfall der Führungsbewegungen erreicht wird.

Die Tabelle wurde nach dem Alter der Kinder geordnet.

Aus der Tabelle geht hervor, dass das Lebensalter der Kinder offenbar keinen Einfluss auf kritische Frequenz und Zerfall hat. Ebensowenig zeigen die Führungsbewegungen bei niederen Frequenzen altersabhängige Unterschiede in der Präzision der Ausführung (Rucküberlagerung).

Auch ein "Übungseffekt", d.h. eine Verbesserung der Bewegungsausführung nach wiederholten Übungen, wurde nicht beobachtet. Manche Kinder zeigten während der jeweils ersten Sekunden nach Versuchsbeginn gute Präzision der Objektverfolgung, aber dann zunehmend rasche Ermüdung. Andere Dagegen brauchten anfänglich längere Zeit, um sich auf die Objektbewegung einzustellen, führten aber in den nachfolgenden Sekunden gute Führungsbewegungen aus.

IV. Besprechung der Ergebnisse

Die Untersuchungen, über die in dieser Arbeit berichtet wird, sind als Basis für die Beurteilung von Führungsbewegungen unter pathologischen Bedingungen gedacht. CORDS hat 1930 über Führungsbewegungen bei motorischen Störungen, vor allem bei Parkinson-Kranken, berichtet. Im Zusammenhang mit Arbeiten, die MACKENSEN und v.NOORDEN über die Oculomotorik bei der Schielamblyopie durchführen, sollen jetzt auch Führungsbewegungen amblyopischer Augen untersucht werden, nachdem sich bereits gezeigt hatte, dass die Fixation ruhender Objekte und Blickbewegungen unter der Führung schwachsichtiger Augen häufig schwere motorische Störungen aufweisen.

Während VOGELS Untersuchungen bei augengesunden Erwachsenen anstellte, wird in dieser Arbeit über Untersuchungen an augengesunden Kindern berichtet.

Aus methodischen Gründen wurde die Sonderform der sinusförmig horizontal pendelnden Führungsbewegungen ausgewählt. Die an 30 Kindern durchgeführten Untersuchungen ergaben, dass im untersuchten Frequenzbereich von 0,25 bis 1,2 Hz Führungsbewegungen von Kindern fast mit derselben Exaktheit ausgeführt werden wie von Erwachsenen. Es ist auch bemerkenswert, dass selbst von 5 bis 6-jährigen gute Versuchsergebnisse zu erhalten waren. Bei der Fixation ruhender Objekte und bei Blickbewegungen ergaben sich nach den Erfahrungen von MACKENSEN wesentlich grössere Schwierigkeiten. Danach ist zu erwarten, dass sich die Führungsbewegungen besonders zum Studium des

motorischen Verhaltens bei schielenden Kindern eigne n.

Wie auch schon von früheren Untersuchern hervorgehoben wurde, finden sich niemals ganz ideal gleitende Bewegungsabläufe. Die sinusförmig pendelnden Deviationen sind - in individuell verschiedener Häufigkeit und Stärke - von Ruckbewegungen überlagert.

In der Untersuchungsmethodik sind die Versuche, über die in dieser Arbeit berichtet wird, weitgehend mit denen WESTHEIMERs vergleichbar. In neueren Untersuchungen von DRISCHEL, SÜNDERHAUF, sowie TRINCKER u.Mitarbeitern wurde statt eines einzelnen bewegten Punktes als Führungsobjekt ein pendelndes Raster benutzt. Als Unterschied zwischen diesen Anordnungen muss hervorgehoben werden, dass ein pendelnd bewegtes flächenhaftes Muster eine stärkere optokinetische Wirkung ausübt als ein einzelner bewegter Punkt. Während bei der Anwendung eines Rasters die den Führungsbewegungen überlagerten Rucke sicher z.T. als nystagmische Zuckungen im Sinne eines optokinetischen Nystagmus gedeutet werden müssen, ist bei der Deutung der Rucke, die sich auch bei der Verwendung eines einzelnen führenden Objektes finden, wohl mehr der Auffassung WESTHEIMERs zuzustimmen, der in ihnen Korrekturen von Stellungs- und Geschwindigkeitsfehlern sah.

DRISCHEL fand bei seinen Untersuchungen einen optimalen Frequenzbereich mit einem Ruckminimum. Auch ÖHRWALL berichtete, dass der Geschwindigkeitsbereich von 1 bis $15^{o}sec^{-1}$ besonders frei von überlagerten Rucken sei. Wir konnten dagegen keine

eindeutige Änderung der Ruckzahlen bei verschiedenen Führungsgeschwindigkeiten beobachten.

Bei der Steigerung der Führungsgeschwindigkeiten zeigen sich dann von einem bestimmten Frequenzbereich an, im Mittel bei o,5 Hz, zunehmend charakteristische Störungen im Ablauf der Führungsbewegungen. Die Ruckhäufigkeit und Grösse nimmt deutlich zu. Im sinusförmigen Ablauf der Kurve finden sich Bewegungsanteile, die der Geschwindigkeit von Blickbewegungen entsprechen. Es kommt ferner zu einer Kurvenabflachung, die erkennen lässt, dass das führende Objekt nicht immer bis in die Endpositionen verfolgt wird. Dieser Frequenzbereich wurde "kritische Frequenz" genannt. Ein Vergleich mit den von VOGELS ermittelten Untersuchungsergebnissen zeigt, dass sich auch bei Erwachsenen in etwa den gleichen Frequenzbereichen in derselben Weise charakteristische Änderungen im Ablauf der Führungsbewegungen einstellen. VOGELS fand die kritische Frequenz für Erwachsene im Mittel bei o,65 Hz. Ein Vergleich mit anderen Arbeiten ist nicht möglich, da die Versuchsbedingungen unterschiedlich waren.

Eine weitere Steigerung der Führungsfrequenzen führt dann schliesslich zum "Zerfall" der Führungsbewegungen in Blickbewegungen. Die Zerfallsfrequenz wird bei Kindern im Mittel bei o,9 Hz, bei Erwachsenen nach VOGELS bei 1,o Hz erreicht. Insgesamt sind demnach die Führungsbewegungen bei Erwachsenen nur geringfügig sicherer als bei Kindern.

Da es bei unseren Untersuchungen nur darum ging, qualitative Besonderheiten im Ablauf der Führungsbewegungen zu studieren,

wurde in der Planung der Versuche und in der Auswertung die genaue Beziehung zwischen der Position des führenden Objektes und des geführten Auges nicht beachtet. Die inzwischen, vor allem durch SÜNDERHAUF sowie durch TRINCKER u. Mitarbeiter, herausgestellte Tatsache, dass bei geringen Führungsgeschwindigkeiten die Augen dem führenden Objekt gewöhnlich etwas vorauseilen, während sie bei den höheren Frequenzen etwas hinter dem führenden Objekt zurückbleiben, ist jedoch auch aus unseren Kurven - mit unterschiedlicher Deutlichkeit - abzulesen.

v. Z u s a m m e n f a s s u n g

1) Augengesunde Kinder können dem führenden Objekt unserer Untersuchungsanordnung bis zu Führungsfrequenzen von etwa 0,5 Hz (maximale Geschwindigkeit etwa $47^{\circ}sec^{-1}$) im ganzen gleitend folgen. Feinste gerichtete und ungerichtete Rucke sind dabei den Kurven fast stets überlagert. Bei 0,5 - 0,7 Hz (maximale Geschwindigkeit etwa $66^{\circ}sec^{-1}$) treten Störungen der Führungsbewegungen auf. In zunehmendem Maß werden sie durch Blickbewegungen ersetzt - kritische Frequenz. Den vollendeten Zerfall der Führungsbewegungen finden wir mit individuellen Unterschieden bei Frequenzen von 0,9 - 1,1 Hz (maximale Geschwindigkeit etwa 85 - $103^{\circ}sec^{-1}$).

2) Das Alter der Kinder hat keinen wesentlichen Einfluss auf die Präzision, mit der die Führungsbewegungen ausgeführt werden.

3) Ein Übungseffekt, d.h. eine Besserung des Bewegungsablaufes nach wiederholtem Üben, wurde nicht beobachtet.

Literatur

ADLER, F.H. - Physiology of the eye, 2.Aufl. C.V. Mosby, St. Louis, 1953.

ders. u. FLIEGELMAN,M. - Influence of fixation on the Visual Acuity. A.M.A. Arch.Ophth. 12, 475-483 (1934).

BÁRÁNY, R. - Die Untersuchung der reflektorischen vestibulären und optischen Augenbewegungen und ihre Bedeutung für die topische Diagnostik der Augenmuskellähmungen. Münchener Mediz.Wochenschr. 54, 1072-1075 und 1132-1135 (1907).

BARLOW, H.B. - Eye movements during fixation. J.Physiol. 116, 290-306 (1952).

du BOIS-REYMOND, E. - Über die Retinaströme. zit. nach HOLMGREN, F. Unters.a.d.Physiol.Inst.d.Univers. Heidelberg 3, 278-326 (1880).

CORDS, R. - Über die Führungsbewegungen. 45.Tag.dtsch.Ophth.Ges. 91-97 (1925).

ders. - Optisch-motorisches Feld und optisch-motorische Bahn. Albrecht v.Graefes Arch.Ophthal. 117, 58-113 (1926).

ders. - Zur Pathologie der Führungsbewegungen. Albrecht v.Graefes Arch.Ophthal. 123, 173-218 (1930).

ders. - Die Physiologie der Augenbewegungen. In SCHIECK, F. u. BRÜCKNER, A. Kurzes Handb.d.Ophthalm., 3.Bd., 440-490. Springer, Berlin, 1930.

ders. Die Pathologie der Augenbewegungen. in SCHIECK, F. u. BRÜCKNER, A. Kurzes Handb.d.Ophthalm., 3.Bd., 491-651. Springer, Berlin, 1930.

DOESSCHATE, ten.,J. - A new form of physiological nystagmus. Ophthalmologica 127, 65-73 (1954).

DODGE, R. - Five types of eye movement in the horizontal meridian plane of the field of regard. Amer.J.Physiol. 8, 307-329 (1903).

DODGE, R. - An experimental study of visual fixation.
Z.Psychol. 52, 321 (1909).

DOHLMAN, J. - Physikalische und physiologische Studien zur Theorie des Nystagmus.
Acta otolaryngol. (Stockholm) Suppl. 5 (1925).

DRISCHEL, H. - Über den fixationsregelnden Apparat des menschlichen Auges.
Vortrag VDE-VDI-Tagung 1958.
Beihefte zur Regelungstechnik, im Druck.

ders. - Über den Frequenzgang der horizontalen Folgebewegungen des menschlichen Auges.
Pflüg.Arch. 268, 34 (1958).

ders. u. LANGE, C. - Über unwillkürliche Augapfelbewegungen bei einäugigem Fixieren.
Pflüg.Arch. 262, 307-333 (1956).

FENN, W.O. u. HURSH, J.B. - Movements of the eyes when the lids are closed.
Amer.J.Physiol. 118, 8-14 (1937).

GERTZ, H. - Über die gleitende (langsame) Augenbewegung.
Z. Sinnesphysiol. 49, 29-58 (1914).

GINSBORG, B.L. - Small voluntary movements of the eye.
Brit.J.Ophthalm. 37, 746-754 (1953).

HECK, J. u. PAPST, W.- Über den Ursprung des corneo-retinalen Ruhepotentials. Elektroretinographie.
Hamburger Symposium 1956.
Bibl.Ophthalm. 48, 96-107,
S.Karger, Basel/NewYork 1957.

HERING, E. - Über Ermüdung und Erholung des Sehorgans.
Albrecht v.Graefes Arch.Ophthal. 37, 1-36 (1891).

HOFMANN, F.B. - Die Lehre vom Raumsinn.
in A.Graefe-Th.Saemisch Handb.Augenhk.
2.Aufl., Bd.3,Kap.13, J.Springer,
Berlin 1925, 259-351 u. 347-348.

HOLMGREN, F. - Über die Retinaströme.
Unters.a.d.Physiol.Inst.d.Univers.
Heidelberg 3, 278-326 (1880).

KESTENBAUM, A. - Der latente Nystagmus und seine Beziehung zur Fixation.
Z.Augenheilk. 45, 97-104 (1921).

KESTENBAUM, A. - Zur Entwicklung der Augenbewegungen und des optokinetischen Nystagmus. Albrecht v.Graefes Arch. Ophthal. 124, 113-127 (1930).

KOCH, E. - Über die Geschwindigkeit der Augenbewegungen. Arch.Psychol. 13, 196-253 (1908).

v.KRIES - zit.nach CORDS, R. Zur Pathologie der Führungsbewegungen. Albrecht v.Graefes Arch.Ophthal. 123, 173-218 (1930).

LANDOLT, E. - Beitrag zur Physiologie der Augenbewegungen. Festschrift zur Feier des 70.Geburtstages von H.v.HELMHOLTZ, S.65, Stuttgart (1891), zit. nach CORDS, R.

LORD, M. u. WRIGHT, W.D.- Small voluntary flicking and following eye movements. Nature 163, 803-804 (1949).

LUDVIGH, E. - Control of ocular movements and visual interpretation of environment. A.M.A.Arch.Ophthal. 48, 442-448 (1952).

MACKENSEN, G. - Das Fixationsverhalten amblyopischer Augen. Albrecht v.Graefes Arch.Ophthal. 159, 200-211 (1957).

ders. - Blickbewegungen amblyopischer Augen. Albrecht v.Graefes Arch.Ophthal. 159, 212-232 (1957).

ders. - Zur Technik der Elektronystagmographie. Ein Gerät zur Befestigung der Elektroden für die Aufzeichnungen horizontaler Augenbewegungen. Klin.Mbl.Augenhk. 121, 599-602 (1952).

ders. - Zur klinischen Anwendung der Elektronystagmographie (Analyse einer ungewöhnlichen Motilitätsstörung mit Hilfe der elektrischen Registrierung). Klin.Mbl.Augenhk. 126, 685-693 (1955).

ders. Die Geschwindigkeit horizontaler Blickbewegungen. Albrecht v.Graefes Arch.Ophthal. 160, 47-64 (1958).

ders. u. HARDER, S. - Untersuchungen zur elektrischen Aufzeichnung von Augenbewegungen. Arch.Ophthalm. 155, 397-412 (1954).

MC.ALLISTER, Cl.N. - The fixation of points in the visual fields.
Psychol.Review, Monogr.Suppl. 7, 17 (1905).

MARX, E. u.TRENDELENBURG,W. - Über die Genauigkeit der Einstellung des Auges beim Fixieren.
Z.Sinnesphysiol. 45, 87 (1911).

MARX, E. - Untersuchungen über Fixation unter verschiedenen Bedingungen.
Z. Sinnesphysiol. 47, 79-96 (1913).

MONNIER, M. - Principes d'électro-oculographie et d'électro-nystagmographie chez l'homme.
Bull. de l'Académie Suisse des Science. Méd. 8, 413-425 (1952).

ders. - Electrophysiologie de l'oeil chez l'homme.
Fortschr. Augenheilk. 2, 35-70 (1953).

MOWRER, O.H., Ruch, T.C. and MILLER, N.E. - The corneo-retinal potential difference as the basis of the galvanometric method of recording eye movements.
Amer.J.Physiol. 114, 423-428 (1936).

ÖHRWALL, H. - Die Bewegungen des Auges während des Fixierens.
Skand.Arch.Physiol. 27, 304-314 (1912).

PIPER, H. - Das elektromotorische Verhalten der Retina bei Eledone moschata.
Arch.Physiol. 1904, 453.

RIEKEN, H. - Die Spiegelraumbewegung, eine neue Untersuchungsmethode auf der Grundlage eines "psycho-optischen" Reflexes.
Albrecht v.Graefes Arch.Ophthal. 145, 432-453 (1943).

RIGGS, L.A., RATCLIFF, F., CORNSWEET, J.C. and CORNSWEET, T.N. - The disapparearance of steadily fixated visual test objects.
Journ.opt.soc.Amer. 43, 495-501 (1953).

SCHLAAK, E. - Eine optisch-photoelektrische Methode zur Registrierung von Augenbewegungen. (Untersuchungen über die Bewegungen der Augen beim Fixieren).
Inaug.Diss.Marburg 1943.

SCHOTT, E. - Über die Registrierung des Nystagmus und anderer Augenbewegungen vermittels des Saitengalvanometers.
Dtsch.Arch.klin.Med. 140,79-90 (1922).

SÜNDERHAUF, A. - Untersuchungen über die Regelung der Augenbewegungen.
Klin.Mbl.Augenhk. 136, 837-852 (1960).

SUNDBERG, C.G. - Über die Blickbewegung und die Bedeutung des indirekten Sehens für das Blicken.
Skand.Arch.Physiol.35, 1-50 (1917).

VERWEIJ, A. - Particularités de l'acte de fixer un objet ou une méthode facile pour les observer objectivement.
Arch.néerland de physiol. de l'homme 3, 76 (1918).

WESTHEIMER, G. - Eye movement responses to a horizontally moving visual stimulus.
A.M.A. Arch.Ophthal. 52, 932-941 (1954).

VOGELS, W. - Führungsbewegungen der Augen. Untersuchungen bei augengesunden Erwachsenen.
Inaug.Diss., Tübingen 1962.

Herrn Professor Dr. H a r m s danke ich für die gute Arbeitsmöglichkeit in seinem Hause, die mir jederzeit zur Verfügung stand.

Besonders herzlich danke ich Herrn Dozenten Dr. G. M a c k e n s e n für die Überlassung des Themas und die stets freundlich und grosszügig gewährte Förderung in allen die Arbeit betreffenden Fragen.

Schliesslich danke ich allen Mitarbeitern der Klinik, die zum Zustandekommen der Arbeit beigetragen haben.

L e b e n s l a u f

Als Tochter des Dr. phil. Hans R o m m e l , Oberstudienrat i.R., und seiner Frau Maria geb. Raiser wurde ich, Annemarie Rommel, am 2o.11.1928 in Freudenstadt geboren. Dort besuchte ich von 1935 bis 1939 die Volksschule und anschliessend das Kepler-Gymnasium, wo ich im Juli 1948 die Reifeprüfung ablegte. Nach einem Haushaltjahr und einer 2-jährigen Ausbildung an den Tübinger Universitätskliniken legte ich dort im Oktober 1951 das Staatsexamen in der Krankenpflege ab. In den folgenden Jahren war ich als Operationsschwester in der Städt. Frauenklinik Stuttgart und als Ambulanzschwester in der Homberger Klinik, Homberg-Fritzlar, tätig.

Im Wintersemester 1956 begann ich das Studium der Medizin an der Universität Tübingen, bestand dort im April 1959 die Ärztliche Vorprüfung und nach weiteren Semestern in Freiburg/Br., Wien und Tübingen im Juni 1962 das Staatsexamen.